

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Егорова Максима Сергеевича
«Научно–технологические принципы межчастичного сращивания спеченных
и горячедеформированных порошковых сталей, модифицированных
ультрадисперсными частицами», представленной на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия
и композиционные материалы

Технология порошковой металлургии активно используется в тех отраслях, где требуется крупносерийное или массовое производство изделий, так как в этих условиях ее преимущества перевешивают недостатки. Спекание является одной из основных технологических операций порошковой металлургии. При этом процессе происходят сложные физические и физико-химические процессы в самой заготовке или изделии, в том числе и явления диффузии, которым можно отвести основополагающую роль при формировании структуры и эксплуатационных свойств порошковых изделий, особенно при использовании в процессе производства многокомпонентных материалов.

Порошковая металлургия прочно утвердилась как перспективная технология, позволяющая получать более дешевые, долговечные и ресурсоэффективные изделия по сравнению с традиционными методами, и ее развитие тесно связано с машиностроительными отраслями промышленности. Изделия, выпускаемые порошковой металлургии востребованы во многих областях отечественной промышленности. Одним из главных потребителей деталей является автомобильная промышленность, которая нуждается в производстве спеченных и горячедеформируемых деталей, обладающих высоким эксплуатационными свойствами.

Одним из основополагающих процессов формирования горячедеформированных порошковых сталей (ГДПС) является сращивание материала частиц на уже имеющихся и вновь образующихся контактных поверхностях. Роль сращивания особенно велика при производстве материалов, работающих в нагруженных условиях. Очевидно, что какая бы ни была структура в объеме материала, окруженном бывшей поверхностью частицы порошка, до определенного уровня сращивания свойства порошкового материала будут определяться не морфологическими структурными особенностями, а качеством сращивания. Также вызывает особый интерес, как введение ультрадисперсных частиц будет влиять на сращивание порошковых материалов при различных видах формования или объемной деформации. Поэтому исследование межчастичного сращивания при формировании спеченных и горячедеформированных порошковых сталей остается актуальной задачей порошкового материаловедения.

Во введении обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна и практическая значимость работы, а также приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе автором обобщены литературные данные о закономерностях уплотнения, формирования структуры и физико–механических свойств порошковых материалов и влияние на эти процессы ультрадисперсных частиц. Содержание главы ограничено рассмотрением металлов, наиболее широко применяемых в производстве горячедеформированных порошковых материалов (ГДПМ). Проведенный подробный анализ и обобщение имеющихся знаний о процессе сращивания частиц в спеченных и в горячедеформированных порошковых сталях позволил автору четко определить задачу и направление дальнейшего исследования в рамках диссертационной работы.

Во второй главе представлена характеристика используемых материалов и оборудования, на котором производились исследования, а также описаны методики проведения экспериментов. В работе представлено используемое оборудование, применявшееся для получения спеченных и горячедеформированных порошковых сталей. Кроме того, описана технологическая схема проведения исследований в данном

направлении. Также подробно охарактеризованы методики и применявшееся оборудование для определения механических свойств полученных порошковых сталей.

В третьей главе диссертации рассматриваются закономерности развития процесса межчастичного сращивания при формировании спеченных сталей. Для оценки качества сращивания (консолидации) в спеченных сталях автор использовал показатель доли относительной контактной поверхности с внутрикристаллитным сращиванием ($\alpha_{ВКС}$). Проведенные исследования показали, что достижение значения этого критерия выше 85% является показателем успешного формирования спеченной стали. При этом наблюдается локализованная деформация и участки вязкого разрушения, что свидетельствует о высоком качестве спеченного материала.

В работе изучалось влияние количества вводимых ультрадисперсных частиц нитрида кремния (Si_3N_4) и оксида никеля (NiO) на структурообразование и межчастичное сращивание (консолидацию) спеченных порошковых сталей. Проведенные исследования позволили установить, что легирование порошковых сталей этими двумя добавками оказывает противоположное воздействие на уплотняемость (консолидацию) материала. Твердые частицы нитрида кремния (Si_3N_4) ухудшают уплотняемость, поскольку внедряются в железную матрицу и препятствуют пластической деформации частиц. В то же время, частицы оксида никеля (NiO) улучшают уплотняемость за счет их восстановления и заполнения образующихся микропор.

В четвертой главе проведено комплексное исследование формирования межчастичного сращивания при горячей штамповке пористых порошковых прессовок с ультрадисперсными частицами. Правильный выбор технологических параметров горячей обработки порошковых сталей позволяет сохранить целостность контактных поверхностей между частицами, обеспечивая высокое качество спекания и консолидации материала. Автором подробно описано влияние ультрадисперсных частиц на формирование межчастичного сращивания горячедеформированных порошковых сталей. Введение ультрадисперсных добавок дает возможность регулировать процессы структурообразования в порошковых сталях за счет изменения соотношения движущих и тормозящих сил, действующих на межчастичные границы. Это позволяет целенаправленно формировать желаемые структуру и свойства окончательного материала.

В пятой главе рассмотрено влияние термической обработки на структуру и механические свойства спеченных и горячедеформированных порошковых сталей с ультрадисперсными частицами. Автором установлено, что наличие пористости с высокой долей свободной поверхности способствует зарождению новых фаз при фазовых превращениях, особенно при значительном вкладе упругой энергии, за счет релаксации упругих напряжений на свободных поверхностях пор. Рассмотрены изменения положения критических точек A_{c1} и A_{c3} при нагреве образцов, содержащих 0,5 и 0,8% С и изготовленных на основе железных порошков ПЖРВ2.200.26 и Н4Д2М с добавлением упрочняющих добавок NiO (1%) и Si_3N_4 (0,2%). Автором установлено, что спеченные ПС имеют пониженную склонность к росту зерна аустенита. Добавление в шихту нитрида кремния способствует формированию мелкозернистой структуры во всем исследуемом интервале пористости. В работе рассмотрены закономерности мартенситного превращения при закалке спеченных сталей с ультрадисперсными частицами. Установлено, что пористость в спеченных сталях способствует ускорению мартенситного превращения за счет следующих факторов: более легкого зарождения мартенсита на поверхности пор и меньшего сопротивления пористого аустенита деформациям превращения. Это приводит к повышению температуры начала мартенситного превращения с ростом пористости.

В пятой главе также показано, что для горячедеформированных порошковых сталей, полученных при температуре 1150 °С, повышение температуры последующего отжига до 800-900 °С приводит к максимальным значениям прочности, пластичности и ударной вязкости. Это объясняется тем, что при таких режимах термообработки

происходит устранение строчечности и релаксация внутренних напряжений в материале. Для эффективного управления механическими свойствами порошковых сталей с ультрадисперсными частицами необходимо обеспечить их внутрикристаллитное сращивание, чего можно достичь путем правильного выбора параметров термической обработки.

Реализация результатов исследований в промышленности представлена в шестой главе. Проведенные исследования были направлены на решение наиболее часто встречающихся при горячей штамповке проблем. В работе представлены технологии изготовления деталей из порошковых материалов на предприятиях города Ростова-на-Дону. По результатам испытаний представлены акты промышленных испытаний.

По работе имеются следующие замечания:

1. В третьей главе автор производит оценки качества контактной поверхности спеченных формовок. На графиках (стр. 9 рис. 1) приведена температура спекания 950 °С, 1050 °С, 1150 °С. Целесообразно рассмотреть оценку качества сращивания при температурах спекания 1000 °С и 1100 °С.
2. Автором установлено, что при относительной площади контактной поверхности с внутрикристаллитным сращиванием 0,85 и более происходит формирование качественного сращивания для всех рассматриваемых материалов. Представляет особый интерес создания технологических карт по использованию полученных данных.
3. Из автореферата не совсем понятно, как определялась степень дополнительной пластической деформации порошкового материала.
4. Применение математического моделирования с целью оптимизации состава спекаемых порошковых материалов, учитывающего процессы диффузии, могло бы дополнить значимость научному исследованию.

Перечисленные замечания не снижают научной и практической ценности диссертационной работы, она отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, и Егоров Максим Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Отзыв составил:

Малинов Леонид Соломонович

287526, Донецкая Народная Республика, г.о. Мариуполь, город Мариуполь, улица Университетская, 7. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Приазовский государственный технический университет», доктор технических наук по специальности 05.16.01- Металловедение и термическая обработка металлов, профессор кафедры Материаловедения.

Я, Малинов Л.С., даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертационной работы Егорова Максима Сергеевича, и их дальнейшую обработку.

Л.С. Малинов

19.09.2024г

Подпись Малинов Л.С. *Л.С. Малинов*
Ведущий специалист
отдела оценки
Док. М.С. Охрименко
19.09.2024

